

Consumo y alternativas de ahorro de combustible en la utilización de tractores agrícolas

RESUMEN

El consumo de combustible de los tractores agrícolas expresado en L/h no permite comparar honestamente la eficiencia en el uso del combustible de motores de alta y baja potencia. Para esta comparación se debe usar el consumo específico expresado en cc/HPh, que aparece en los informes con los resultados de las pruebas de tractores. Idealmente se debería conocer el consumo en L/ha que demanda la ejecución de las faenas bajo las diferentes condiciones de operación en terreno. En este artículo se presentan 5 técnicas para usar más eficientemente el combustible y se cuantifican los ahorros posibles de lograr actuando inteligentemente sobre aspectos tales como la selección del tractor, el uso de un engranaje posterior y desacelerar el motor, la armonización del conjunto tractor-máquina, la reducción del patinaje a niveles razonables, y la implementación de sistemas de labranza-siembra conservacionista.

Palabras claves: Combustible, tractores, condiciones, terreno, técnicas

Ing. Agr. Edmundo Hetz H., Ph.D.

Profesor de la Universidad de Concepción de Chile
ehetz@udec.cl

Mg. Scie. Lizardo Reina C.

Profesor de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
lizrey50@hotmail.com

ABSTRACT

The consumption offuel of the agricultural tractors expressed in L/h does not allow to compare honestly the efficiency in the use of the fuel of engines of high and low power. For this comparison the specific consumption must use expressed in cc/HPh, that it appears in the reports with the results of the tests of tractors. Ideally it should know the consumption in L/ha that demands the execution of the tasks under the different conditions of operation in area.

In this article they present 5 technologies to use more efficiently the fuel and the possible savings are quantified of managing acting intelligently on such aspects as the selection of the tractor; the use of a later gear and to decelerate the engine, the harmonization of the joint tractor - machine, the reduction of the skating to reasonable levels, and the system implementation of conservationist tillage - sowing.

Key words: Fuel, tractors, conditions, area, technologies

Recibido: 15 de noviembre, 2012
Aceptado: 30 de noviembre, 2012

INTRODUCCIÓN

El tractor es la fuente de energía móvil y versátil más importantes con que se cuenta actualmente para la producción comercial en el área agropecuaria y forestal. Este se desplaza por el terreno arrastrando y/o empujando implementos, portando sobre sí herramientas y sistemas mecánicos para sembrar, fertilizar y controlar malezas y plagas, y puede también accionar y controlar el funcionamiento de otras máquinas más complejas.

El motor de combustión interna del tractor transforma la energía química contenida en el combustible en calor y luego en energía mecánica para generar movimientos rotativos en la polea, el eje toma fuerza, las ruedas motrices, bomba y motores hidráulicos y desplazamientos lineales en la barra de tiro, enganche de 3 puntos y cilindros hidráulicos. El combustible diesel utilizado en los motores es uno de los productos derivados de la destilación del petróleo crudo obtenido de las entrañas de la tierra y del fondo de los mares. Es de todos conocidos que las reservas mundiales de petróleo son escasas y que, consecuentemente, su precio continuará aumentando, encareciendo las faenas agrícolas necesarias para la producción de alimentos y otros bienes importantes para el bienestar de la humanidad. También se ha establecido que en la mayoría de los países sudamericanos el combustible representa entre 40 y 50% del costo total de la operación ho-



Rotoenfardadora de gran tamaño.

raria del tractor.

Aún cuando existen iniciativas importantes para desarrollar combustibles alternativos tales como el biodiesel y bioetanol, sus costos son todavía muy altos y su disponibilidad para los usuarios en forma masiva, expedita y a costos razonables tardará en llegar. Lo anteriormente señalado justifica los importantes esfuerzos que se realizan para incentivar el ahorro de combustible, partiendo por conocer cuánto se consume en la ejecución de las diferentes faenas agrícolas.

Los objetivos de este trabajo son establecer y analizar el consumo de combustible por los tractores durante la ejecución de las principales operaciones necesarias para la producción agropecuaria y cuantificar los ahorros posibles de lograr usando algunas técnicas apropiadas.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Es muy común expresar el consumo de combustible (CC) de los motores de los tractores agrícolas en litros por hora (L/h); sin embargo, esta unidad no es buena para comparar tractores pues uno de alta potencia consumirá más que otro de baja potencia. Por esta razón se debe utilizar el consumo específico de combustible (CEC), que se puede obtener de los informes generados en los laboratorios de los centros de prueba de tractores. Los centros más conocidos son el de la Universidad de Nebraska, USA, los de varios países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y, en Sudamérica, el del Instituto de Ingeniería Rural (IIR) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicado en Castelar, Buenos Aires, Argentina.

La mejor expresión del CEC tiene unidades de masa, la cual no cambia con la temperatura, sobre unidades de potencia y tiempo, es decir, gramos por kilowat·hora (g/kWh). Sin embargo, en este artículo se usarán unidades de volumen (centímetros cúbicos, cc; y litros, L), y la potencia se expresará en caballos (HP), ya que estas son las unidades usadas por los agricultores y técnicos de terreno (cc/HPh; L/HPh). Se deja constancia de que $1 \text{ kW} = 1,34 \text{ HP} = 1,36 \text{ CV}$ y que para todo fin práctico $1 \text{ HP} = 1 \text{ CV}$.

El CC de un tractor está directamente relacionado con la potencia que puede generar su motor y con el nivel de carga que representa la operación que está ejecutando. Los tractores realizan diferentes operaciones a lo largo del año y pocas de ellas demandan niveles de potencia cercanos a la máxima. De tal manera que existen CC para operaciones específicas y, más importante aún, como un promedio horario anual que permite planificar apropiadamente la demanda de combustible en la empresa agrícola.

Para el primer caso es necesario conocer la potencia nominal del motor, su CEC y el nivel

de carga. Para los ejemplos se usará el tractor agrícola moderno más común con una potencia nominal de 94 HP (70 kW) y un CEC promedio de 235 cc/HPh (Hetz y Weinlaub, 2001; U. de Nebraska, 2011). De este modo, para una operación de aradura que signifique un nivel de carga promedio de 85% se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{CC} &= 94 \text{ HP} \times 0,85 \times 0,235 \text{ L/HPh} \\ &= 18,8 \text{ L/h} \end{aligned}$$

Para estimar el CC del tractor a lo largo de un año, durante el cual se realizarán operaciones que demandan distintos niveles de potencia, es necesario conocer estas condiciones de operación o niveles de carga y el porcentaje del tiempo que el tractor está destinado a cada una de ellas. Para un modelo específico de tractor se puede usar el promedio del CC obtenido en las 6 pruebas de cargas variables, señalado en la sección "potencia variable y consumo de combustible" del respectivo informe de prueba (U. de Nebraska, 2011).

Por otro lado, también se puede usar lo propuesto por Renius (2009) para Alemania respecto de los 5 niveles de carga según las faenas típicas a realizar a lo largo del año, las cuales se

presentan en la Tabla 1.

Los datos de la Tabla 1 entregan una demanda de potencia promedio anual de 40,2%; sin embargo para USA este nivel de carga se acerca a 55% el cual ha probado ser adecuado cuando el tractor es usado gran parte del tiempo en faenas de labranza (U. de Nebraska, 2011; Goering, 2004).

Usando los CEC para cada uno de los niveles de carga y su promedio de 93,2 cc/HPh, Renius (2007) concluye que un tractor de 94 HP tendría un CC de 8,8 L/h, obtenido de multiplicar 94 HP por 0,0932 L/HPh. Se debe recordar aquí que este mismo tractor consumirá 18,8 L/h cuando esté realizando una faena de aradura.

Por otro lado es necesario enfatizar que los CC que más deben interesarle a los agricultores son los litros necesarios para cubrir una hectárea (L/ha), que para algunas faenas de cosecha pueden ser los litros por tonelada procesada (L/t). Estos CC son muy similares para la misma faena realizada por un tractor de alta potencia con un implemento grande o por un tractor de menor potencia con un implemento más pequeño. De este modo, arar una

Tabla 1. Niveles de carga típicos en la operación de un tractor agrícola a lo largo de un año, demanda de potencia y tiempo destinado a cada tipo de faena

Nivel carga	Descripción de los niveles de carga con algunas faenas como ejemplo	% potencia nominal	% del tiempo
1	Alto: aradura con vertederas, subsolado profundo, picar maíz de alto rendimiento para ensilaje (Fig. 1)	83,6	31
2	Mediano: rastraje pesado con discos, siembra directa, pulverizadora para árboles frutales grandes (Fig. 2)	40,8	18
3	Bajo: enfardadora gran tamaño, sembradora tradicional, cortar y acondicionar forraje (Fig. 3)	21,2	19
4	Muy bajo: pulverizadora de barra, hilerado de pasto, control mecánico de malezas (Fig. 4)	15,0	20
5	Sin carga: motor girando a RPM mínimas (ralentí)	0,0	12

Fuente: Adaptado desde Renius (2009)

hectárea con el tractor de los 94 HP nominales y un arado de 1,5 m de ancho de trabajo tomará algo cercano a 1,3 horas para un CC de 24,5 L; hacerlo con un tractor de 50 HP nominales y un arado de 0,8 m de ancho de trabajo tomará unas 2,6 horas y para un CC de 9,5 L/h ello significará nuevamente un CC cercano a 25 L/ha.

Sin embargo, debe tenerse muy presente que los CC en L/h pueden variar notablemente según la eficiencia de campo que se tenga. Es decir, los tiempos muertos asociados a la forma y tamaño de los potreros, el patrón de circulación en el campo, la reposición de insumos y la descarga de productos, estado mecánico del equipo, calidad del operador y otros factores de esta naturaleza. En la Tabla 2 se presentan valores de CC para 24 operaciones agrícolas mecanizadas, los cuales pueden usarse como una referencia de lo esperable bajo las diferentes condiciones de trabajo. Los CC bajo, medio y alto deben asociarse a condiciones de trabajo óptimas (bajo), normales (medio) y adversas (alto).

ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA AHORRAR COMBUSTIBLE

Existen varias acciones que se pueden realizar para ahorrar combustible en el trabajo agrícola mecanizado, con la mayoría de ellas sin costo importante y obvias para los agricultores con buen criterio y sentido común. Entre éstas se pueden destacar la eliminación de las pérdidas en el almacenamiento y manejo del combustible, mantener a los motores en buen estado

Tabla 2. Consumos aproximados de combustible Diesel en la ejecución de las principales operaciones agrícolas mecanizadas. Litros/hectárea

Operación / implemento / máquina	Consumo Bajo	Consumo Medio	Consumo Alto
Aradura con vertederas o rejillas	13-17	23-27	30-34
Aradura con discos	11-15	20-24	24-32
Aradura con cincel	10-14	13-17	22-26
Aradura con arado rotativo	12-16	24-28	33-37
Subsolado de suelos	13-17	18-22	23-27
Rastraje con discos pesada (offset)	9-11	13-17	20-24
Rastraje con discos liviana (tandem)	7-9	11-15	16-20
Rastraje con clavos o resortes	6-8	7-9	10-14
Nivelación de suelos	13-17	17-21	13-17
Rodillado o tablón nivelador	5-7	8-9	9-10
Sembradora grano fino (trigo y similares)	6-8	9-10	11-13
Sembradora grano grueso (maíz y similares)	7-9	9-11	14-16
Control mecánico de malezas	4-6	7-9	12-14
Pulverizadora de barra	4-5	5-6	7-9
Pulverizadora para huertos frutales	10-12	18-22	28-32
Fertilizadora centrífuga	4-5	5-7	9-11
Corte de pasto	5-7	7-9	11-13
Hilerado de pasto	4-5	5-6	8-10
Enfardadura	7-9	10-14	16-18
Cosecha de forraje (chopper)	11-13	21-25	31-35
Cosecha de grano fino	9-11	13-17	20-24
Cosecha de maíz, arroz	13-17	20-24	28-32
Cosecha de remolacha	48-52	58-62	68-72
Carro de transporte	3-4	5-6	5-7

Fuente: Hetz y Barrios (1997)

de funcionamiento aplicando programas de mantenimiento y reparación con énfasis en el sistema de inyección diesel y filtro de aire, aumentar la eficiencia de campo adecuando los potreros al grado de mecanización aplicado, trabajar los suelos en la fase friable de contenido de humedad y otras medidas similares.

En este artículo se describen y cuantifican las siguientes 5 técnicas de ahorro de combustible diesel más específicas:

1. Selección del tractor

La selección de un tractor es una decisión compleja que requiere considerar varios factores, principalmente técnicos, agronómicos y económicos. Desde el punto de vista del ahorro de combustible es necesario considerar en la

selección el CEC de aquellos modelos que satisfacen las necesidades del usuario.

Un estudio realizado por Hetz y Weinlaub (2001) para un total de 110 modelos de tractores estableció que el CEC varió entre 0,215 y 0,260 L/HPh y para el rango de potencia de 90 -100 HP el CEC varió entre 0,220 y 0,250 L/HPh (U. de Nebraska, 2011). Considerando una vida útil (VU) del tractor de 12.000 horas (15 años con 800 horas de uso anual) y un precio del Diesel de 0,28 US\$/L se lograrían los siguientes ahorros de combustible y dinero al seleccionar el más eficiente en el uso del combustible:

Tractor 1: 0,250 L/HPh x 94 HP x 0,85 x 12.000 h = 239.700 L/VU

Tractor 2: 0,220 L/HPh x 94 HP x 0,85 x 12.000 h = 210.936 L/VU

La diferencia es de 28.764 L, los que a 0,28 US\$/L representan 8.054 US\$ que corresponderían al ahorro logrado durante la VU si se elige el tractor 2, cuyo consumo es casi 2,4 L/h menor que el CC del tractor 1, equivalentes a 0,67 US\$/h.

Debe destacarse que las cifras mostradas asumen que este tractor está siempre ejecutando faenas pesadas que demandan un 85% o más de su potencia nominal, lo cual puede ocurrir toda vez que haya más de un tractor en el predio (De Simone y otros, 2006).

2. Usar un engranaje posterior y desacelerar

Esta técnica consiste en usar un engranaje (cambio, marcha) más alto y desacelerar levemente el motor; por ejemplo usar 5^a a 1.600 RPM en vez de 4^a a 2.000 RPM, obteniéndose una potencia y velocidades de trabajo prácticamente iguales. Esta técnica se puede usar toda vez que las faenas a ejecutar sean de un nivel bajo o muy bajo, no demandando más allá de la mitad de la potencia nominal del tractor, tales como control mecánico de malezas, rastrajes livianos, siembra, transporte (Koelsch, 1999).

Para cuantificar el posible ahorro de combustible es necesario usar los resultados de las pruebas de tractores, que informan dos pruebas a la barra de tiro generando 50% de carga, una con el motor acelerado a RPM nominales (prueba 1) y otra en un cambio más alto con el motor desacelerado (prueba 2). La prueba N° 161 del año 1992 realizada en la Universidad de Nebraska (2011), correspondiente a un modelo de tractor ampliamente difundido en Sudamérica, informa que en ambos casos

se obtienen potencias de 35 HP y velocidades de 10 km/h; sin embargo en la prueba 1 el CC es de 11,56 L/h y en la prueba 2 el CC es de 9,26 L/h, lográndose un ahorro de 2,3 L/h. Aceptando que esta técnica se podría usar solo durante un 35% de la vida útil del tractor (ejecución de faenas menores y livianas) se lograría el siguiente ahorro de combustible y dinero: 2,3 L/h x 12.000 h de VU x 0,35 = 9.660 L x 0,28 US\$/L = 2.705 US\$ en la VU

Por otro lado, también se logra un menor desgaste del motor ya que está trabajando a menores RPM. Se advierte que no debe sobrecargarse el motor y éste debe recuperar prestamente las RPM nominales al llevar el acelerador a la posición máxima, asegurando que en ningún caso el motor expulse humo negro por el escape.

3. Armonización del conjunto tractor-máquina o implemento

Es muy importante establecer conjuntos armónicos para usar eficientemente el combustible; esto es lograr que haya una buena correspondencia (armonía) entre el tamaño del implemento o máquina (ancho de trabajo, T/h) y el tamaño del tractor (potencia). De lo contrario, cuando el implemento es muy pequeño se pierde capacidad de trabajo aumentando el consumo de L/ha, el operador trabajará a velocidades muy altas que desgastarán al implemento en corto tiempo y lo romperán con frecuencia; por otro lado, cuando el implemento es muy grande para la potencia del tractor éste trabajará sobrecargado y tendrá una alta incidencia de problemas mecánicos, ocurriendo un excesivo patinaje y desgaste de neumáticos. En

ambos casos la eficiencia de uso del combustible y la calidad del trabajo serán menores pero el costo será mayor.

Sin embargo, en un predio normalmente existe una amplia variedad de máquinas e implementos, lo cual imposibilita lograr una armonización ideal entre todas ellas y el tractor. Por ello lo que se persigue es lograr una buena armonización entre el tractor y las máquinas de alta demanda de potencia, de tal manera que éste deba trabajar generando alrededor del 85% de su potencia nominal, para lo cual es necesario relacionar el ancho y velocidad de trabajo con la potencia del tractor. Para las faenas menores y livianas se puede usar la técnica de engranaje posterior y desacelerar el motor.

Los ahorros de combustible posibles de obtener estableciendo armonizaciones correctas son difíciles de cuantificar por la gran variedad de situaciones que pueden ocurrir en terreno, pero se ha demostrado que pueden ser importantes y se han estimado conservadoramente entre 10 y 20% del consumo a cargas altas, lo cual se traduciría en reducciones del CC en el rango de 2 a 4 L/h (U. de Nebraska, 2011; De Simone y otros, 2006; Witney, 2005).

4. Reducción del patinaje con uso adecuado de lastres y contrapesos

Los objetivos de usar lastres y contrapesos son lograr que el tractor pueda desarrollar grandes fuerzas en la barra de tiro y reducir el patinaje a niveles razonables, lo cual respalda el dicho campesino de que “un tractor tira lo que pesa”. Sin embargo, pesos excesivos pueden causar graves

problemas de compactación del suelo y se ha sugerido limitar el peso de los tractores a 45-50 kg/HP para trabajar entre 10 y 12 km/h con tractores livianos-rápidos y a 65-70 kg/HP para trabajar entre 4 y 6 km/h con tractores pesados-lentos (PAMI, 2011; De Simone y otros, 2006).

Los contrapesos se agregan en la parte frontal del tractor para obtener mayor estabilidad y evitar volcamientos y para lograr una adecuada distribución del peso total, la cual en la condición estática y dependiendo del tipo de tracción debe ser la siguiente (PAMI 2011; De Simone y otros, 2006; Witney, 2005):

- Tracción simple: 30% en el eje frontal, 70% en el eje trasero.
 - Tracción frontal asistida: 40% en el eje frontal, 60% en el eje trasero.
 - Tracción doble: 60% en el eje frontal, 40% en el eje trasero.
- El uso de lastres y contrapesos debe limitar los patinajes al rango 10-15% en tractores con tracción simple, al rango 8-10% en tracción doble frontal asistida y a 2 - 4% para tracción doble con todas las ruedas de igual tamaño. El porcentaje de patinaje a lograr dentro de cada rango dependerá de la firmeza mecánica de la superficie de rodado, para las cuales se presentan 3 tipos clásicos: a) superficie de rodado firme, tal cual una pradera, b) un suelo preparado a la forma de cama de siembra, y c) un suelo recién arado con discos o vertederas donde el patinaje y resistencia al rodado serán mayores. En las tres condiciones antes descritas los porcentajes de patinaje aceptables pueden ir aumentando dentro de los rangos señalados al pasar de la condición a) hacia b) y c).

Los ahorros de combustible posibles de lograr con apropiado patinaje, lastrado y distribución del peso son difíciles de cuantificar por la cantidad de variables involucradas; sin embargo y conociendo que es frecuente encontrar en terreno patinajes superiores a 20%, su reducción a los valores apropiados antes señalados permitiría ahorrar entre 1 y 2 L/h (PAMI, 2011; U. de Nebraska, 2011; Witney, 2005).

5. Utilización de sistemas de labranza-siembra conservacionista

Labranza Conservacionista (LC) es aquella que deja más de 30% de la superficie del suelo después de la siembra cubierto con residuos vegetales y que además reduce las pérdidas de suelo y agua respecto de la labranza tradicional (LT). En la versión de Labranza Reducida (LR) el porcentaje de suelo cubierto con residuos vegetales puede bajar hasta 20%. La máxima expresión de la LC ocurre en la Siembra Directa (SD) o Cero Labranza, en la cual solo se aplica un herbicida total y luego se siembra a través de los residuos de la cosecha anterior con una máquina apropiada para este fin.

Uno de los mayores beneficios que se señalan para la LC, especialmente para la SD, es la reducción global de los costos de producción, principalmente a través del ahorro de combustible. Para la cuantificación de este ahorro de combustible se pueden usar los resultados de los estudios realizados en Chile en cultivos anuales tales como trigo, avena, cebada, lupino y maíz los cuales muestran que de los 50 L/ha que requiere la LT se podría bajar a unos 35 L/ha

en LR y a unos 20 L/ha en SD, aproximadamente (Crovatto, 1999; Hetz y Barrios, 1997).

La utilización de esta tecnología de labranza logra, indudablemente, ahorros de combustible muy importantes. Como ejemplo se puede señalar que todo agricultor que logre implementar exitosamente el paso de 100 ha desde LT a SD tendrá un ahorro de 3.000 litros de combustible diesel cada vez que establezca sus cultivos con el sistema de SD. Además de lo anterior, el agricultor recibirá los múltiples beneficios de largo plazo asociados a la tecnología de labranza conservacionista (Crovatto, 1999).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crovatto, C.** 1999. Agricultura de conservación; el grano para el hombre, la paja para el suelo. Eumedia/Mundi-Prensa. Madrid, España
- De Simone, M., L. Draghi, J. Hilbert y D. Jorajuria.** 2006. El tractor agrícola: fundamentos para su selección y uso. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina
- Goering, C.** 2004. Engine and tractor power. ASAE textbook N° 3. St. Joseph, MI, USA
- Hetz, E. y M. Weinlaub.** 2001. Evaluación técnica de los tractores agrícolas comercializados en Chile. Agro Ciencia 17(2):187-192. Chillán, Chile
- Hetz, E. y A. Barrios.** 1997. Reducción del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistas. Agro Ciencia 13(1):41-47. Chillán, Chile
- Koelsch, R.** 1999. Gear-up and throttle-down to save fuel. Agricultural Energy Management FS-15. Cornell University, Ithaca, NY, USA.
- PAMI.** 2011. (Prairie Agricultural Machinery Institute). Ballasting your tractor for performance. Research updates N° 725, 726, 727. Humboldt, Saskatchewan, Canada
- Renius, K. T.** 2009. Power sources: tractors. IN: CIGR Handbook of agricultural engineering; Machines for crop production. Volume III. ASAE, St. Joseph, MI, USA
- University of Nebraska.** 2011. Nebraska and OECD tractor test data. Lincoln, NE, USA
- Witney, B.** 2005. Choosing and using farm machines. Land Technology, Edinburgh, Scotland